Potensi Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan Di Wilayah Kalimantan Barat

Fauzi

Magister Teknik Elektro Universitas Tanjungpura Pontianak,
Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak
e-mail : alaydrusfauzi363@gmail.com

Abstract– *The area of oil palm plantations spread in 12 (twelve) regencies and 1 (one) city in West Kalimantan until 2016 has reached more than 1.4 million hectares. In addition to producing the main products of CPO, the oil palm plantation industry also produces biomass waste which, if not treated properly, will have adverse impacts on the environment. Solid waste from the processing of fresh fruit bunches can be utilized as fuel boiler driving steam turbine power plant. Liquid waste can be processed into biogas for fuel gas engines or gas turbines. While solid waste from stems and palm oil plant bark can be processed to produce bioethanol. Solid waste from the palm oil processing plant that has not been optimally utilized in the form of empty bunches of volumes reached more than 1.077.087 tons/ year and shell 301.584 tons/ year. Of these two solid wastes have the potential to generate energy of 21.826 TJ/yr. While liquid waste has the potential to produce methane gas of 66.779 on/year with a calorific value of 3.606 TJ /yr. The total energy produced by solid and liquid waste is 25.432 TJ/yr. If used as fuel boiler or gas engine with heat transfer value into energy (efficiency) of 21,5%, will be generated electrical energy equal to 1,466,159 MWh/yr or equivalent with power plant with capacity more than 167 MW that operate throughout the year. From the processing of stem and oil palm plant stem if in every year re-planting of 4% of the plant area (48,344 ha), will potentially produce bioethanol 698.861 kL/yr. From utilization of palm oil processing waste as raw material of energy replacing fossil fuel will have positive impact to environment and potency to reduce CO2 emission up to 3,047,808 t-CO2/yr. Utilization of waste oil palm plantations into energy will provide financial benefits and environmental improvement.*

Keywords- *palm oil, biomass waste, energy, environment*

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok untuk menjalankan aktifitas industri, bisnis, dan berbagai aspek sosial kemasyarakatan lainnya. Ketersediaan energi listrik yang cukup akan mempengaruhi produktifitas, memacu pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Pada saat ini aktifitas kehidupan, terutama bagi masyarakat perkotaan

tidak bisa dipisahkan dari energi listrik, dengan kata lain ketergantungan masyarakat terhadap ketersediaan energi listrik sangat tinggi. Hampir setiap peralatan kerja dan penunjang kegiatan kantor, rumah tangga dan bisnis memerlukan energi listrik, sehingga jika pasokan energi listrik terganggu, akan berdampak langsung terhadap aktifitas sosial ekonomi masyarakat.

Kelangkaan dan mahalnnya harga energi merupakan permasalahan nasional dan global yang berdampak luas bagi kehidupan masyarakat, baik untuk keperluan rumah tangga, industri dan transportasi. Saat ini 54,5% kebutuhan energi di Indonesia dipenuhi dari eksploitasi cadangan minyak bumi, berikutnya gas bumi 26,5% dan batu bara 14,4%, selebihnya dipenuhi dari sumber energi lainnya. Pada tahun 2025 komposisi penggunaan energi bersumber pada batu bara 33%, gas 30%, minyak bumi 20%, bahan bakar nabati 5%, panas bumi 5% dan sisanya dari sumber energi terbarukan mencapai 7% (Kepres No. 5 tahun 2006). Di wilayah Kalimantan Barat, pada saat ini pasokan energi listrik sebagian besar masih tergantung pada pembangkit listrik tenaga disel (PLTD) [1]. Besarnya ketergantungan pada sumber energi bahan bakar minyak (BBM), mengakibatkan membengkaknya anggaran belanja negara untuk subsidi BBM. Krisis ekonomi yang dipicu oleh naiknya harga minyak dunia semakin menghimpit kehidupan masyarakat berbagai lapisan di Indonesia. Hal ini semakin menyadarkan berbagai kalangan di tanah air bahwa ketergantungan terhadap BBM secara perlahan perlu dikurangi. Buruknya pengaruh pembakaran BBM terhadap lingkungan juga menjadi faktor pendorong pengembangan teknologi dan sekaligus tantangan untuk mencari sumber energi terbarukan yang belum dimanfaatkan secara optimal.

Indonesia merupakan negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia, pada tahun 2016 produksi *crude palm oil* (CPO) mencapai 33,229 juta ton, dengan luas lahan sekitar 12 juta hektar [2]. Sedangkan produksi CPO Malaysia pada tahun 2016 mencapai 17,320 juta ton dan Thailand 2,3 juta ton. Industri perkebunan kelapa sawit menghasilkan limbah padat dan cair yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Limbah padat tandan kosong sawit (TKS) dan limbah cair *palm oil mill effluent* (POME) yang tidak ditangani secara baik merupakan sumber pencemaran lingkungan. Gas

methana yang dihasilkan oleh tandan kosong (TKS) dan POME akan berpengaruh terhadap pemanasan global dan berpotensi menjadi isu global yang merugikan industri perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Di Malaysia dan Thailand limbah pabrik pengolahan kelapa sawit dimanfaatkan sebagai sumber energi. Pada tahun 2016 jumlah pembangkit tenaga listrik biogas dari POME di Malaysia berjumlah 66 buah yang sudah beroperasi, 11 buah dalam tahap konstruksi dan 150 buah dalam tahap persiapan [3]. Sedangkan di Thailand pada tahun 2011 telah beroperasi *biogas power plant* berbasis limbah sawit sebanyak 28 buah dan 18 buah lainnya dalam tahap konstruksi [4]. Potensi biomassa dan biogas dari limbah pabrik pengolahan kelapa sawit di Indonesia sangat melimpah namun hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal walaupun kelangkaan energi sudah menjadi isu nasional.

Dari proses pengolahan tandan buah segar (*fresh fruit bunches*) menjadi minyak sawit (*crude palm oil*) lebih kurang 42% nya akan menjadi limbah padat berupa tempurung (*shell*) sebanyak 6% , serabut (*fiber*) 13% dan tandan kosong (*empty fruit bunches*) 23%. Dari hasil proses pengolahan tandan buah segar (FFB) menjadi CPO juga dihasilkan limbah cair (POME) sebesar 65% [3]. Limbah padat dan cair yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan kelapa sawit tersebut dapat dijadikan sumber energi listrik untuk memenuhi kebutuhan operasional pabrik maupun masyarakat di sekitarnya. Pemanfaatan limbah pabrik pengolahan kelapa sawit menjadi energi listrik akan memperoleh dua keuntungan yaitu penjualan energi ke PLN dan kontrak penurunan emisi karbon (*Carbon Emission Reduction / CER*). Biaya pembangkitan energi listrik berbasis limbah pabrik pengolahan minyak kelapa sawit jauh lebih murah dibanding dengan pembangkit listrik tenaga diesel.

Luas areal perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Barat pada akhir tahun 2015 telah mencapai lebih dari 1,4 juta hektar, dengan produksi tandan buah segar (TBS) mencapai lebih dari 10 juta ton. Budi daya perkebunan kelapa sawit dikembangkan diseluruh Kabupaten yang ada Propinsi Kalimantan Barat yang memiliki luas daratan sekitar 14,68 juta hektar dengan jumlah penduduk kurang lebih 5 juta jiwa. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Dinas ESDM Provinsi Kalimantan Barat, tingkat elektrifikasi mencapai sekitar 78% dan masih tersisa 22% pemukiman masyarakat yang belum memperoleh pasokan energi listrik. Daerah yang belum dialiri listrik umumnya adalah pemukiman terpencil yang sulit dijangkau dengan jumlah penduduk yang tidak banyak. Pemerataan pasokan energi listrik hingga keseluruh pelosok daerah terpencil memerlukan biaya operasional yang sangat mahal, sehingga permasalahan ini menjadi pertimbangan utama dalam analisis kelayakan ekonomis. Untuk itu pemerintah daerah harus secara serius melakukan kajian terhadap potensi sumber energi setempat yang lebih murah dan dapat menjangkau masyarakat di daerah terpencil. Sementara itu menyikapi semakin menipisnya cadangan minyak dunia dan dampak dari pembakaran bahan bakar

minyak (BBM) bagi kelestarian lingkungan, pemerintah menggalakkan penggunaan berbagai sumber energi alternatif terbarukan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Industri perkebunan kelapa sawit menghasilkan limbah yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut dengan beberapa kelebihan yaitu:

- 1). Biaya ongkos angkutan lebih murah karena lokasi pabrik tersebar di seluruh wilayah provinsi Kalimantan Barat.
- 2). Membantu mengatasi pencemaran lingkungan akibat pelepasan emisi CH_4 dan CO_2 ke udara yang dihasilkan oleh limbah biomasa dan asap dari pembakaran limbah padat secara terbuka dan tidak terkendali.
- 3). Kompensasi biaya pengurangan emisi karbon (*Carbon Emission Reduction / CER*) dari United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) .
- 4). Membuka peluang kesempatan kerja, yang berdampak pada peningkatan kesejahteraan masyarakat.

2. Teknologi Konservasi Energi

Untuk mengubah bahan biomasa menjadi energi dapat dilakukan melalui beberapa proses yaitu: proses thermo kimia, proses bio kimia dan proses mekanis. Proses thermo kimia mengolah bahan biomasa menjadi energi dalam bentuk lain pada temperatur tinggi. Teknologi proses thermo-kimia tersebut diantaranya pembakaran langsung, gasifikasi, pirolisis, liquifikasi dan torefikasi, dimana masing-masing proses akan menghasilkan produk yang berbeda. Blok diagram dari teknologi proses dan produk yang dihasilkan ditunjukkan dalam gambar 1. Proses konversi tersebut berlangsung pada konsentrasi oksigen yang berbeda-beda.

2.1. Pembakaran langsung

Proses konversi biomasa menjadi kalor melalui pembakaran secara langsung telah terjadi dalam kurun waktu ribuan tahun, baik untuk mendukung aktivitas rumah tangga, transportasi maupun industri. Proses pembakaran secara langsung membutuhkan oksigen untuk proses oksidasi secara menyeluruh dari unsur-unsur di dalam material biomasa, yaitu karbon menjadi karbon dioksida, hidrogen menjadi air, belerang menjadi belerang dioksida dan nitrogen menjadi nitrogen oksida. Salah satu aplikasi teknologi konversi energi biomasa dalam skala komersial yang lebih besar adalah pembakaran biomasa pada sistem boiler untuk pembangkit tenaga listrik atau CHP (*Combine Heat and Power*).

Gambar 1. Diagram blok teknologi proses thermo kimia dan produk yang dihasilkan [5].

2.2. Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses oksidasi parsial dari material yang mengandung unsur karbon seperti biomasa atau batu bara untuk memproduksi gas sintesis, yaitu dengan memasukkan oksigen yang lebih sedikit dari persyaratan stoikiometri pada pembakaran sempurna. Proses gasifikasi berada diantara pembakaran dan pirolisis yang terjadi pada temperatur antara 600 – 1500 °C. Kualitas gas yang dihasilkan tergantung pada jenis proses dan kondisi operasional dari reaktor. Untuk memproduksi gas sintesis dapat menggunakan oksidan udara, campuran udara dengan oksigen atau uap (*steam*). Proses gasifikasi menggunakan oksidan udara biayanya cukup murah, gas yang dihasilkan mengandung nitrogen lebih dari 60% dan memiliki nilai kalori neto antara 4 – 6 MJ/Nm³, sedangkan jika menggunakan oksigen, gas yang dihasilkan mengandung kalori neto yang lebih tinggi antara 10 – 18 MJ/Nm³ dan dibutuhkan biaya yang lebih mahal [6]. Teknologi ini sangat ramah lingkungan namun biaya investasi dan operasionalnya masih cukup mahal. Keuntungan dari teknologi gasifikasi biomasa tersebut adalah:

1. Dapat memanfaatkan limbah perkebunan (dalam hal ini perkebunan kelapa sawit)
2. Gas produknya dapat dimanfaatkan dengan bersih, dalam alat pembakar yang kompak serta efisiensi termal yang tinggi.
3. Ramah lingkungan, teknologi gasifikasi telah banyak digunakan untuk memproduksi bahan bakar komersial dan bahan kimia.

Pada saat ini penggunaan fasilitas gasifikasi pada industri kilang minyak dan kimia untuk menghasilkan gas sintesis semakin meningkat. Teknologi gasifikasi memiliki keandalan untuk menghasilkan gas sintesis berkualitas tinggi yang dapat digunakan sebagai sumber energi. Pemanfaatan biomasa dan limbah pertanian sebagai bahan baku gas sintesis akan memberikan keuntungan yang lebih baik daripada dibakar secara konvensional atau dibuang dalam pembakaran. Efisiensi gas sintesis yang dihasilkan (*cold gas efficiency*) dari proses gasifikasi antara 65% hingga 80%, tergantung teknologi yang digunakan. Proses gasifikasi dan pembangkit tenaga listrik dari gas sintesis ditunjukkan dalam gambar 2.

Gambar 2. Diagram blok pembangkit tenaga listrik dari proses gasifikasi [6].

Dalam proses gasifikasi material biomasa dipanaskan pada temperatur tinggi hingga menyebabkan serangkaian perubahan fisik dan kimia yang menghasilkan evolusi produk yang mudah menguap (gas) dan residu padat karbon. Komposisi dan jumlah gas yang dihasilkan tergantung pada temperatur reaktor, jenis dan karakteristik dari material bahan bakar. Pada umumnya laju gasifikasi pada fase arang dari material biomasa dibatasi karena tahap devolatilisasi berlangsung sangat cepat. Komposisi gas produk akhir juga tergantung pada tingkat keseimbangan yang dicapai oleh berbagai reaksi fase gas, terutama reaksi pemisahan air – gas. Dengan tidak adanya katalis, gasifikasi arang dengan gas reaktif seperti O₂, H₂O dan CO₂ terjadi pada suhu yang lebih tinggi (700°C s/d 1000°C) sesuai dengan reaksi berikut:

Arang + oksigen terbatas → Gas + Tar + Abu

Pada proses gasifikasi arang dengan oksidan uap akan dihasilkan gas terutama CO₂, CO, H₂ dan CH₄.

Uap dapat ditambahkan dari sumber eksternal atau dari reaksi dehidrasi sisa biomasa. Pada saat reaktor beroperasi pada suhu rendah, tingkat pemanasan yang rendah dan tekanan yang sangat tinggi, reaksi sekunder sangat penting karena lamanya waktu tinggal (dari produk yang mudah menguap di zona reaksi). Di sisi lain, pada tekanan rendah, suhu tinggi, dan tingkat pemanasan yang tinggi, sebagian besar produk yang mudah menguap akan melepaskan diri dari partikel bahan bakar selama dalam tahapan pirolisis, sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya interaksi antara arang dengan gas. Dalam *fluidized bed* gasifikasi, reaksi sekunder dalam fase gas - padat dan gas - gas berlangsung.

Dekomposisi termal dari produk kayu dimulai pada temperatur kurang dari 160°C saat penyulingan air berlangsung, yang dikenal sebagai "cuka kayu (*pyroligneous acid*)". Namun karena produk utama dari biomasa di bawah 600°C adalah berbentuk arang, proses gasifikasi biomasa biasanya dirancang untuk beroperasi pada suhu di atas titik ini. Dengan demikian suhu yang lebih tinggi diperlukan untuk memenuhi persyaratan terjadinya konversi arang menjadi produk gas, yang merupakan tujuan utama dari gasifikasi biomassa.

Gambar 3. Proses gasifikasi dan produk yang dihasilkan [7]

Proses gasifikasi biomassa terjadi dalam empat tahap yang saling terkait: 1) pengeringan bahan baku; 2) pirolisis untuk menghasilkan material yang mudah menguap (gas) dan arang; 3) gasifikasi untuk membentuk arang dengan gas reaktif seperti CO_2 , H_2O , H_2 dan O_2 ; dan CH_4 reaksi sekunder gas primer dan tar. Proses gasifikasi menggunakan oksidan udara, oksigen, hidrogen atau uap ditunjukkan dalam gambar 3. untuk mengkonversi bahan karbon menjadi produk gas.

2.3. Pirolisis

Pirolisis adalah proses dekomposisi dari material organik pada temperatur tinggi (300oC – 700oC) tanpa oksigen. Produk yang dihasilkan dari proses pirolisis bahan lignoselulosa terdiri dari tiga bentuk yaitu padat berupa arang, cairan berupa minyak pirolisis (pyrolysis oil) dan campuran gas yang mudah terbakar. Sifat dari masing-masing produk tergantung pada parameter reaksi yaitu; suhu, tingkat pemanasan, lamanya waktu tinggal dan tekanan pada saat proses berlangsung. Pirolisis telah dipraktikkan selama berabad-abad untuk memproduksi arang (karbonisasi). Proses ini berlangsung pada suhu yang relatif rendah dan waktu tinggal yang cukup lama untuk menghasilkan arang padat hingga maksimal sekitar 35%.

Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian lebih banyak dicurahkan untuk memproduksi minyak pirolisis, karena memiliki beberapa keuntungan yaitu mudah dibakar dan mengandung nilai kalori yang lebih tinggi. Pada proses reaksi (fast or flash pyrolysis) dengan temperatur moderat dihasilkan kondensat organik 40 – 65%, arang 10 – 20%, gas 10 – 30%, air 5 – 15% dari masa bahan baku kondisi kering. Cairan ini disebut bio-oils atau biocrudes, yang dapat dibakar langsung di dalam boiler, mesin pembakar atau penggerak turbin. Minyak pirolisis memiliki nilai kalori neto antara 15 – 18 MJ/kg, gas 15 MJ/Nm³ dan arang sekitar 32 MJ/kg. Arang yang dihasilkan oleh proses pirolisis sangat mudah terbakar oleh karena itu harus ditangani dengan hati-hati terutama pada kondisi panas.

Produk ini memiliki beberapa kelemahan seperti stabilitas termal dan nilai kalori yang rendah, kekentalannya tinggi dan bersifat korosif, oleh karena itu diperlukan beberapa perlakuan untuk memperbaiki kelemahan tersebut. Keuntungan penggunaan bahan bakar bio-oils pada power plant adalah proses produksi dapat

dilakukan terpisah dari sistem pembangkit tenaga listrik sehingga permasalahan transportasi akibat rendahnya berat jenis bahan baku biomassa dapat diatasi.

2.4. Liquifikasi

Liquifikasi atau pencairan hidrotermal adalah pirolisis dalam air panas terkompresi 10 Mpa dan suhu sekitar 300oC. Biomasa dikonversi menjadi gas, cair dan padat seperti pirolisis secara umum dalam fase gas. Tar fraksi ringan, seperti pyrolygneous dapat larut dalam air dan fraksi berat tar dapat diperoleh dalam pencampuran dengan arang. Artinya produk yang dihasilkan adalah gas, cairan dan bahan berminyak. Proses liquifikasi menghasilkan produk cair lebih banyak, kandungan oksigen lebih rendah, energi yang lebih tinggi dan produk akhir yang lebih stabil. Produk liquifikasi lebih baik dibandingkan dengan produk pirolisis. Meskipun kandungan oksigen dari produk minyak liquifikasi jauh lebih rendah dibandingkan pada biomasa asalnya, namun kandungan oksigen tersebut masih terlalu tinggi untuk membuat gasoline atau minyak disel, untuk itu diperlukan proses lebih lanjut.

Karena liquifikasi berlangsung di dalam air, maka tidak diperlukan proses pengeringan bahan baku. Oleh karena itu sangat cocok untuk biomassa yang memiliki kelembaban tinggi, seperti biomassa dari daerah berair, sampah, lumpur organik dan sebagainya. Selain itu berbagai jenis reaksi dapat terjadi pada suhu reaksi yang berbeda dan banyak aplikasi lain yang memungkinkan. Pada sekitar suhu 100oC, fraksi larut air terlarutkan dan ekstraksi berlangsung. Di atas suhu 150oC terjadi hidrolisis dan polimerisasi biomassa, seperti selulosa, hemiselulosa, protein dan sebagainya terdegradasi menjadi monomer. Pada suhu sekitar 200oC dan tekanan 1Mpa, bahan padat seperti biomassa diubah menjadi bubur, tetapi tidak diperoleh produk berminyak. Pada tekanan 10 Mpa dan suhu 300oC proses pencairan terjadi dan diperoleh produk berminyak. Ketika kondisi reaksi berubah seperti waktu reaksi atau katalis, produk utama dapat diubah menjadi arang.

Proses liquifikasi pada dasarnya adalah pirolisis dan oleh karena itu degradasi dan polimerisasi terjadi, secara skematik ditunjukkan dalam gambar 4. Pada tahap pertama biomassa dapat terdegradasi menjadi bahan larut air, kemudian bahan larut air dipolimerisasi untuk membentuk minyak. Ketika reaksi diperpanjang, minyak yang terbentuk dipolimerisasi menjadi arang. Reaksi dilakukan tanpa mengurangi gas, seperti hidrogen dan karbon monoksida dengan katalis alkali untuk kayu dan tanpa katalis untuk limbah lumpur. Minyak yang dihasilkan mengandung oksigen 20%, oleh karena itu nilai kalorinya kurang dari 42 MJ/kg, lebih rendah dari minyak bumi dan kekentalannya sangat tinggi. Minyak yang diperoleh dari kayu memiliki fraksi asam cukup tinggi, dapat menimbulkan korosi dan polimerisasi selama dalam penyimpanan. Minyak yang diperoleh dari limbah lumpur mengandung nitrogen yang berasal dari protein, oleh karena itu saat pembakaran diperlukan perlakuan Nox.

Gambar 4. Skema reaksi liquifikasi sederhana [8]

Perbandingan nilai kalori dalam minyak yang dihasilkan dari proses liquefikasi adalah sekitar 70% dari nilai kalori yang terkandung dalam bahan baku. Energi yang diperlukan untuk proses liquifikasi sedikit lebih rendah dari energi yang terkandung dalam minyak hasil proses liquifikasi.

2.5. Proses Biokimia

Hasil proses fotosintesis akan membentuk lignin dan selulosa / hemiselulosa pada tanaman. Untuk mengubah lignin yang terkandung pada bahan biomasa menjadi energi diperlukan proses termokimia, karena proses biokimia tidak bisa mengubah lignin menjadi gas sintesis. Sedangkan proses hidrolisis atau enzimatik (biokimia) lebih cocok digunakan untuk mengubah selulosa menjadi energi, karena selulosa memiliki degradabilitas yang lebih tinggi dari lignin. Proses ini akan menghasilkan produk akhir dalam bentuk bahan bakar cair atau gas. Teknologi proses yang umum digunakan adalah fermentasi untuk menghasilkan bahan bakar cair dan anaerobic digester untuk menghasilkan bahan bakar gas sintesis.

2.5.1 Fermentasi

Tanaman yang banyak mengandung gula atau pati sangat cocok digunakan sebagai bahan baku untuk memproduksi etanol melalui proses fermentasi. Proses tersebut melibatkan bakteri atau jamur untuk menguraikan bahan organik menjadi alkohol. Bahan baku industri etanol pada awalnya bertumpu pada produk pertanian yang biasanya digunakan sebagai bahan pangan. Dalam perkembangannya produk pangan semakin mahal, sehingga industri etanol semakin tidak mampu bersaing. Seiring dengan permasalahan tersebut, berbagai penelitian dan inovasi dilakukan hingga didapatkan pengganti bahan baku yang berasal dari kayu dan limbah biomasa (lignocellulosic materials), yang lebih menjanjikan dalam jangka panjang dan tidak mengganggu stabilitas pangan.

Pada dasarnya kebanyakan bahan biologis mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin. Semua komponen biologis tersebut adalah sakarida, selulosa terdiri dari polimer glukosa rantai panjang, hemiselulosa juga demikian, namun rantai polimernya memiliki struktur amorf. Lignin juga terdiri dari polimer glukosa rantai panjang tetapi ikatan kimianya berbeda dengan selulosa dan jauh lebih sulit untuk dipecah. Bahan baku lignoselulosa (material yang mengandung lignin dan selulosa) dapat berupa limbah pertanian atau tanaman khusus untuk industri etanol. Dibandingkan dengan penggunaan bensin sebagai bahan bakar, etanol lebih

ramah terhadap lingkungan, karena tidak menghasilkan emisi karbon dioksida.

Untuk mengkonversi biomasa menjadi etanol menggunakan proses enzimatik dan mikroba dilakukan sebagai berikut: Bahan biomasa mentah dilakukan proses awal (pretreatment) dengan hidrolisa hemiselulosa menggunakan asam sulfat. Pretreatment diperlukan karena biomasa tidak dapat larut, selain itu juga dimaksudkan untuk membuka struktur fisik agar selulosa dapat diakses oleh enzim dan proses pencernaan selanjutnya dapat berlangsung dengan baik. Pada tahap ini secara kimiawi hemiselulosa yang merupakan sakarida amorf diubah menjadi glukosa. Aliran proses selanjutnya terbagi menjadi dua yaitu; glukosa yang berasal dari hidrolisis hemiselulosa diproses terpisah dan sisanya sebagai umpan untuk dua tahap proses lainnya. Salah satu tahapan proses tersebut adalah produksi enzim selulase. Enzim selulase diproduksi oleh jamur dalam fermentasi aerobik multiphase yang melibatkan aliran cairan dan gas hasil proses sebelumnya. Sedangkan tahapan proses lainnya adalah hidrolisis selulosa dan fermentasi gula secara anaerobik pada reaktor utama. Proses ini tergantung pada enzim selulase yang diproduksi pada tahap sebelumnya. Tahap akhir dari proses adalah pemisahan produk etanol dari kotoran limbah. Produk limbah berupa lignin dan bahan lainnya dapat digunakan sebagai bahan bakar boiler untuk memenuhi kebutuhan energi dalam keseluruhan proses.

2.5.2 Anaerobic Degester

Anaerobic digester adalah proses alami dimana bakteri mengubah bahan organik menjadi biogas, pada lingkungan bebas oksigen (anaerob). Melalui proses pengasaman bakteri menguraikan bahan organik menjadi gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2) sebagai produk utama, selebihnya adalah berupa gas nitrogen (N_2), hidrogen sulfida (H_2S), hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Perkembangan proses anaerobik digestion telah berhasil pada banyak aplikasi. Proses ini memiliki kemampuan untuk mengolah sampah / limbah yang keberadaannya melimpah dan tidak bermanfaat menjadi produk yang lebih bernilai. Aplikasi anaerobik digestion telah berhasil pada pengolahan limbah industri, pertanian dan peternakan. Produk biogas dapat digunakan untuk menghasilkan panas penggerak turbin atau bila dimurnikan bisa digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor.

Process pencernaan anaerobik berlangsung melalui empat tahapan. Beberapa kelompok mikro organisme yang berbeda harus berbagi sejumlah kecil energi yang tersedia. Proses pencernaan dimulai dengan hidrolisis bakteri, yang memecah polimer rantai panjang dari lemak, protein dan karbohidrat yang tidak larut menjadi polimer rantai pendek. Berikutnya, bakteri Acidogenic mengkonversi asam lemak, asam amino, dan gula menjadi CO_2 , H_2 , NH_3 dan asam organik. Bakteri acetogenic kemudian mengubah asam organik menjadi asam asetat. Akhirnya, bakteri metanogen mengubah produk ini ke gas, sebagian besar metana. Proses

pencernaan limbah organik menjadi biogas adalah sebagai berikut:

- Hidrolisis

Pada tahap hidrolisis, air bereaksi dengan polimer organik rantai panjang seperti polisakarida, lemak dan protein menjadi polimer rantai pendek yang dapat larut seperti gula, asam lemak rantai panjang dan asam amino. Selulosa, amilase, lipase, protease atau enzim yang diproduksi oleh mikroorganisme melakukan proses ini.

- Asidogenesis

Dalam tahap asidogenesis, oksidasi anaerobik menggunakan gula, asam lemak rantai panjang dan asam amino yang diciptakan selama hidrolisis sebagai substrat. Berbagai macam bakteri yang berbeda melakukan asidogenesis. Asidogenesis merupakan langkah yang paling singkat dalam konversi bahan organik kompleks pada pencernaan fase cair. Dalam pencernaan anaerobik stabil, rangkaian proses degradasi adalah melalui asetat, karbon dioksida, dan hidrogen. Bakteri merespon konsentrasi peningkatan hidrogen dalam cairan dengan memproduksi laktat, etanol, propionat, butirat dan asam lemak yang mudah menguap (*volatile fatty acids* / VFAs), dimana mikro organisme metanogen digunakan sebagai substrat.

- Asetogenesis

Dalam tahap asetogenesis, hidrogen membuat bakteri acetogenic mengkonversi asam lemak dan etanol / alkohol menjadi asetat, karbon dioksida dan hidrogen. Konversi menengah ini sangat penting untuk keberhasilan produksi biogas, karena metanogen tidak dapat menggunakan senyawa ini secara langsung. Acetogen tumbuh lambat dan tergantung pada tekanan parsial hidrogen yang rendah untuk degradasi acetogenic untuk menghasilkan energi. Acetogen sensitif terhadap perubahan lingkungan; mereka membutuhkan waktu yang lama untuk menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan baru.

- Metanogenesis

Dalam tahap metanogenesis, pembentukan metana dapat terjadi melalui dua cara. Cara pertama melalui fermentasi asam asetat, produk utama dari fase

pembentukan asam menghasilkan metana dan karbon dioksida. Bakteri acetoclastic (atau acetophilic) menggunakan asam asetat. Reaksi keseluruhan adalah :

Cara kedua menggunakan hidrogen untuk mengurangi CO_2 ke CH_4 oleh metanogen hydrogenophilic :

Hanya sejumlah senyawa yang dapat bertindak sebagai substrat pada tahap methanogenesis. Asetat, H_2 , CO_2 , metanol, dan format sebagai substrat kunci. Berdasarkan hubungan stoikiometri, para ahli memperkirakan bahwa sekitar 70% dari metana dihasilkan dari asetat, sedangkan 30% sisanya dihasilkan dari H_2 dan CO_2 . Untuk meningkatkan efektifitas konversi bahan organik menjadi biogas,

mikroorganisme aktif membutuhkan nutrisi dan kondisi lingkungan yang spesifik. Nutrisi dan kimia sintesis yang diperlukan untuk pencernaan anaerobik meliputi:

- Macronutrients seperti C, H, O, N, S, P, K, Ca, Mg untuk menyediakan makanan bagi bakteri.
- Mikronutrien seperti Fe, Ni, Zn, Mn, Mo, dan Co untuk menjaga kesehatan bakteri
- Kadang kala vitamin dalam jumlah kecil diperlukan untuk memenuhi kebutuhan katalitik tertentu dalam biosintesis.
- Enzim (katalis protein yang dihasilkan oleh sel-sel hidup) untuk mempercepat reaksi seluler mikroorganisme
- Suhu sekitar 35°C untuk mesofilik dan 55°C untuk termofilik
- pH sekitar 7.

Operators harus memantau dan menjaga kondisi lingkungan dalam digester untuk mendukung kesehatan koloni mikro organisme dan mengoptimalkan produksi biogas.

2.6. Proses Mekanis

Biomasa banyak digunakan sebagai bahan baku energi, baik untuk bahan bakar padat, cair maupun gas. Bentuk produk bahan bakar tersebut disesuaikan dengan kegunaan, kendala teknis dan ekonomis dalam penyediaannya. Proses mekanis bertujuan untuk memperbaiki karakteristik dari biomasa tersebut agar kandungan energinya (*energy density*) meningkat. Perbaikan karakteristik meliputi penurunan kadar air dan peningkatan kepadatan agar mudah dibakar dan bernilai kalori tinggi.

Salah satu proses perbaikan karakteristik biomasa menjadi bahan bakar padat secara mekanis adalah dengan membentuknya menjadi pelet. Biomasa diperkecil ukurannya dalam bentuk serpihan (*chip*), kemudian dikeringkan hingga kandungan airnya mencapai antara 7 – 12%. Selanjutnya bahan biomasa diperkecil ukurannya berbentuk serbuk (*digiling*), kemudian dicetak dengan tekanan tinggi pada temperatur hingga 150°C . Setelah dicetak dalam bentuk pelet berukuran diameter 6 – 10 mm dan diameter 10 – 20 mm, kemudian didinginkan. Produk pelet biomasa memiliki kandungan kalori antara 16 – 18 MJ/kg, hal ini sangat berbeda dengan karakteristik bahan baku sebelum diolah dengan berat jenis dan kandungan kalori yang rendah. Peletisasi dapat menjadi solusi dari permasalahan biaya transportasi bahan baku biomasa, terutama untuk jarak yang jauh.

3. Potensi Energi dari Limbah Industri Kelapa Sawit di Kalimantan Barat

Hingga akhir tahun 2015 realisasi budidaya perkebunan kelapa sawit di wilayah Kalimantan barat telah mencapai lebih dari 1,4 juta hektar [9]. Dari perkebunan kelapa sawit tersebut dihasilkan limbah padat biomasa berupa pelepah dan batang sawit. Pelepah sawit dihasilkan dari proses perawatan tanaman (pemangkasan) yang dilakukan pada saat panen atau kegiatan penanaman kembali (*replanting*) bersama

dengan batang sawit yang sudah tidak produktif. Pelepah dan batang kelapa sawit yang masih basah banyak mengandung selulose dan hemi-selulose, hal ini merupakan potensi bahan baku untuk pembuatan bio-etanol. Besarnya volume pelepah dari kegiatan perawatan tanaman dan kegiatan penanaman kembali (per hektar per tahun) ditunjukkan dalam tabel 1. Batang kelapa sawit yang sudah tua dengan diameter 38 cm dan tinggi 10 meter akan berpotensi menghasilkan bio-etanol sebesar 111,2 liter [10]. Satu hektar kebun kelapa sawit terdiri dari 130 hingga 140 batang, sehingga berpotensi menghasilkan bio-etanol sebesar 14.456 liter/ha. Berdasarkan data dalam tabel 2.4 tandan kosong juga merupakan bahan baku untuk memproduksi bio ethanol. Selain sebagai bahan baku bio-ethanol limbah padat dari tankos dan pengolahan batang kelapa sawit masih bisa digunakan sebagai bahan bakar setelah melalui proses pengeringan.

Tabel 1 Volume limbah kebun kelapa sawit [11]

No.	Jenis limbah / masa pengambilan	Moisture Content (%)	Volume
1	Batang / replanting	70	62,8 (t / ha)
2	Pelepah / replanting	63,5	14,9 (t / ha)
3	Pelepah / tunasan	63,5	9,8 (t / ha / th)

Proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi CPO dan inti sawit akan menghasilkan limbah padat berupa tandan kosong (*empty fruit bunch*), serat (*fiber*), cangkang (*shell*) dan limbah cair POME (*palm oil mill effluent*). Limbah padat dan cair yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan minyak sawit bisa memberikan nilai tambah jika diolah dengan sentuhan teknologi yang tepat. Seiring dengan isu pemanasan global dan meningkatnya kebutuhan energi, pemanfaatan limbah padat dan limbah cair hasil pengolahan minyak sawit sebagai sumber energi akan memberikan nilai tambah yang lebih menguntungkan dibandingkan dengan pemanfaatan untuk produk lainnya. Volume dan nilai kalori limbah pabrik pengolahan kelapa sawit ditunjukkan dalam tabel 2.

Tabel 2. Volume dan nilai kalori dari limbah pengolahan 1 ton TBS [12]

No.	Jenis limbah	Volume limbah (%)	Volume limbah (kg)	Nilai kalori (kJ/kg)	Jumlah kalori (kJ)
1	Serat	13	130	11.300	1.469.000
2	Cangkang	7	70	18.800	1.316.000
3	Tankos (MC 10%)	10	100	15.000	1.500.000
4	Gas Methana	-	6,20	54.000	334.800

Melalui proses termo-kimia biomasa dapat di konversi menjadi panas untuk memproduksi uap, gas bahan bakar, gas sintetis, hidrokarbon dan lain-lainnya. Pada kondisi basah tandan kosong merupakan limbah yang paling besar, agar dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler atau reaktor gasifikasi, kandungan airnya harus diturunkan hingga di bawah 30%. Nilai kalori tandan kosong sangat dipengaruhi oleh

kandungan air dan jumlah unsur karbon tetap (*fix carbon*).

Selain menghasilkan limbah padat pabrik pengolahan minyak sawit juga menghasilkan limbah cair (POME), yaitu sisa kondensat dari proses sterilisasi, klarifikasi, pembersihan pabrik dan kegiatan lainnya. Produk sampingan, *Palm Oil Mill Effluent* (POME) tersebut mengandung minyak (lemak), protein, dan karbohidrat, pada kondisi segar POME berwarna coklat terang dan tidak beracun. POME merupakan larutan koloid yang mengandung 94% - 96% cairan, 0,6 - 0,7% minyak dan 4 - 5,5% material padat. Dari setiap satu ton pengolahan tandan buah segar menjadi CPO dihasilkan limbah cair sekitar 0,6 - 0,65 m³. Volume biogas yang dihasilkan dari proses penguraian POME oleh bakteri di dalam *anaerobic digester* ditunjukkan dalam tabel 3.

Tabel 3. Volume dan karakteristik gas methana dari proses penguraian POME [13]

Parameter	Volume	Satuan
Produksi POME dari hasil pengolahan TBS	0,65	m ³ -POME/ton TBS
Biogas yang dihasilkan dari POME	24	m ³ Biogas/m ³ -POME
Konsentrasi CH ₄ dalam biogas	0,56	m ³ -CH ₄ /m ³ -Biogas
Berat jenis CH ₄	0,00071	ton/m ³

Berdasarkan produksi tandan buah segar pada tahun 2016 sebesar 10,7 juta ton, dari pabrik pengolahan kelapa sawit akan dihasilkan limbah serat (*fiber*) sebesar 1,4 juta ton, cangkang 754 ribu ton dan tankos sebesar 1,1 juta ton pada MC 10%. Selain limbah padat juga dihasilkan limbah cair sebesar 7 juta ton yang berpotensi menghasilkan gas methana sebesar 67 ribu ton. Setelah dikurangi untuk keperluan operasional pabrik, dari sisa limbah padat dan cair diperkirakan akan menghasilkan energi listrik sebesar 1.466.159 MWh/th. Sedangkan dari pengolahan limbah perkebunan kelapa sawit dan kegiatan replanting, akan berpotensi menghasilkan bio etanol sebesar 826.000 kL/th.

4. Kesimpulan

Tanaman perkebunan kelapa sawit di wilayah Kalimantan Barat secara keseluruhan hingga akhir tahun 2015 telah mencapai lebih dari 1,4 juta hektar. Dari pabrik pengolahan kelapa sawit dihasilkan limbah padat berupa serat, cangkang, tandan kosong dan limbah cair (POME). Sedangkan dari aktivitas pengelolaan kebun dihasilkan limbah berupa batang (dari tanaman yang sudah tua dan tidak produktif), dan pelepah. Kedua jenis limbah tersebut dapat digunakan sebagai bahan baku energi melalui proses termokimia atau biokimia. Proses termokimia akan menghasilkan energi panas sedangkan proses biokimia akan menghasilkan bahan bakar cair atau gas. Limbah padat dari pabrik pengolahan minyak sawit dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler penggerak turbin uap untuk menghasilkan energi listrik.

Dari analisa terhadap potensi limbah industri perkebunan kelapa sawit di seluruh wilayah provinsi

Kalimantan Barat sebagai sumber energi alternatif terbarukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Potensi kelebihan limbah padat dari pengolahan minyak sawit di seluruh wilayah Kalimantan Barat setelah digunakan untuk kebutuhan lokal dihasilkan sisa cangkang yang tidak digunakan (40% dari total produksi) sebesar 301.584 ton/th dan tankos pada MC 10% sebanyak 1.077.087 ton/th. Dari kedua
2. limbah padat tersebut berpotensi untuk menghasilkan energi sebesar 21.826 TJ/th.
3. Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan kelapa sawit berpotensi menghasilkan gas metana sebesar 66.779 ton/th dengan nilai energi 3.606 TJ/th.
4. Total energi yang dihasilkan oleh limbah padat dan cair sebesar 25.432 TJ/th. Jika digunakan sebagai bahan bakar boiler akan dihasilkan energi listrik kurang lebih sebesar 1,466,159 MWh/th atau setara dengan pembangkit tenaga listrik berkapasitas lebih dari 167 MW yang beroperasi sepanjang tahun (8.760 jam).
5. Dari kegiatan peremajaan tanaman kelapa sawit jika pada setiap tahun dilakukan penanaman kembali seluas (57.140 ha) atau 4% dari luas areal tanaman, dengan potensi bioethanol dari batang kelapa sawit sebesar 14.456 liter/ha, diseluruh wilayah Kalimantan Barat akan dihasilkan bioethanol sebesar 826.014 kL/th.

Referensi

- [1] *Statistik Ketenagalistrikan Th. 2017*, Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, th 2017
- [2] *Statistik Perkebunan Indonesia Kelapa Sawit*, Direktorat Jenderal Perkebunan 2017.
- [3] Abu Bakar Nasrin, *Country Presentation on Status of Bioenergy Development in Malaysia*, IRENA, 2014.
- [4] Chavananand Krisada, *How the Thai Palm Oil Industry gained technology leadership in waste to energy*, Jakarta 2011.
- [5] McKendry Peter, *Energy production from biomass (part 1): overview of biomass*, Bioresource Technology 83 (2002) 37–46
- [6] Austermann S, Withing K. J, *Commercial Assessment Advanced Conversion Technology (Gasification) for Biomass Project*, Bioregen 2007.
- [7] Sadaka Samy P.E. P.Eng, *Gasification*, Iowa State university
- [8] Yokoyama, Syinya, *The Asian Biomass Handbook*, The Japan Institute of Energy, Tokyo, 2008.
- [9] *Kalimantan Barat Dalam Angka 2016*, Badan Pusat statistik Kalimantan Barat
- [10] Mori Yutaka. *Old Oil Palm Trunk as Promising Feedstock for Biofuel and Bioplastic*, JIRCAS, 2008
- [11] Rajab Aljuboori Ahmad H., *Oil Palm Biomass Residue in Malaysia: Availability and Sustainability*, International Journal of Biomass and Renewables, 2012
- [12] KEIRIN, *Preliminary Feasibility Study on The Palm Oil Mill Wastes-fired Power Generation Systems and CDM Project for Rural Electrification in Sumatra, Indonesia*, Engineering and Consulting Firms Association, Japan NTT GP-ECO communication, Inc., 2009.
- [13] PREGA, *Utilization of Biogas Generated from the Anaerobic Treatment of Palm Oil Mills Effluent (POME) as Indigenous Energy Source for Rural Energy Supply and Elect rification*, P.T. Chazaro Gerbang Internasional, 2004.

Biografi

Fauzi, lahir di Sambas tanggal 15 Januari 1963, lulus Diploma Teknik Elektro (D3) Politeknik Institut Teknologi Bandung pada tahun 1990, lulus Diploma (D4) Teknik Elektro Institut Teknologi Bandung tahun 2000 dan lulus S2 Teknik Elektro Universitas Tanjungpura pada tahun 2018. Dari tahun 1991 hingga saat ini bekerja sebagai tenaga pengajar di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Pontianak.